

Schnotz, Wolfgang; Zink, Thomas; Pfeiffer, Michael

Visualisierungen im Lehr-Lern-Prozeß

Zeitschrift für Pädagogik 42 (1996) 2, S. 193-213



Quellenangabe/ Reference:

Schnotz, Wolfgang; Zink, Thomas; Pfeiffer, Michael: Visualisierungen im Lehr-Lern-Prozeß - In: Zeitschrift für Pädagogik 42 (1996) 2, S. 193-213 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-106522 - DOI: 10.25656/01:10652

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-106522>

<https://doi.org/10.25656/01:10652>

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Zeitschrift für Pädagogik

Jahrgang 42 – Heft 2 – März/April 1996

Essay

- 149 FRITZ OSTERWALDER
Zum 250. Geburtstag Pestalozzis – rationale Argumentation oder
Kult des Pädagogischen

Thema: Wissensstrukturierung im Unterricht

- 167 WOLFGANG EINSIEDLER
Wissensstrukturierung im Unterricht. Neuere Forschung zur Wissens-
repräsentation und ihre Anwendung im Unterricht
- 193 WOLFGANG SCHNOTZ/THOMAS ZINK/MICHAEL PFEIFFER
Visualisierungen im Lehr-Lern-Prozeß
- 215 SABINE MARTSCHINKE
Der Aufbau mentaler Prozesse durch bildliche Darstellungen.
Eine experimentelle Studie über die Bedeutung der Merkmals-
dimensionen Elaboriertheit und Strukturiertheit im Sachunterricht
der Grundschule

Thema: Allgemeine Pädagogik

- 235 JÜRGEN OELKERS
Die Erziehung zum Guten: Legitimationspotentiale Allgemeiner
Pädagogik
- 255 EWALD TITZ
Exodus und Pädagogik. Die Exodus-Erzählung als Grundmuster der
kritischen Bildungstheorie Heydorns
- 277 KLAUS MOLLENHAUER
Über Mutmaßungen zum „Niedergang“ der Allgemeinen Pädagogik –
eine Glosse

Diskussion

- 289 HORST RUMPF
Fixierungen und Wahrnehmungsschwächen. Replik auf Beiträge von
Klaus Prange und Jürgen Diederich zum Thema „Kritik
didaktischer Moden“

Besprechungen

- 297 CRISTINA ALLEMANN-GHIONDA
Georg Auernheimer: Einführung in die interkulturelle Erziehung
Wolfgang Nieke: Interkulturelle Erziehung und Bildung.
Wertorientierungen im Alltag
- 303 HEINZ-ELMAR TENORTH
Georg Bollenbeck: Bildung und Kultur. Glanz und Elend eines
deutschen Deutungsmusters
- 305 PETER DREWEK
Martin Schmeiser: Akademischer Hasard. Das Berufsschicksal des
Professors und das Schicksal der deutschen Universität 1870–1920.
Eine verstehend soziologische Untersuchung

Dokumentation

- 309 Pädagogische Neuerscheinungen

Visualisierungen im Lehr-Lern-Prozeß

Zusammenfassung

Die Visualisierung von Sachverhalten spielt in Lehr- und Lernprozessen seit langem eine wesentliche Rolle. Bislang ist jedoch wenig darüber bekannt, wie ein Lerngegenstand visualisiert werden sollte bzw. welche Form der Visualisierung für welche Zwecke am besten geeignet ist. Traditionelle Theorien zum Sprach- und Bildverstehen bieten zur Beantwortung dieser Frage keine geeignete Grundlage. Es wird deshalb ein alternativer Theorieansatz entwickelt, der das Verstehen von Visualisierungen als einen Prozeß der Strukturabbildung einer räumlich-visuellen Konfiguration auf ein mentales Modell ansieht. Aufgrund einer empirischen Untersuchung, die Unterschiede in der Verwendung der Text- und Bildinformation sowie in der Beantwortung verschiedener Testfragen ergab, läßt sich erkennen, daß beim Verstehen einer Visualisierung nicht nur die eigentlichen Sachinformationen, sondern auch bildhafte Oberflächeneigenschaften von Bedeutung sind.

1. Einleitung

Die Visualisierung von Sachverhalten spielt im Prozeß des Lehrens und Lernens seit langem eine wichtige Rolle. Während sich im Mittelalter Bilder als Kommunikationsinstrumente noch meist an ein leseunkundiges Publikum wandten, wurden mit dem Beginn der Neuzeit Bilder nicht nur zu einem Hilfsmittel der sich nun rasch entwickelnden Wissenschaften, sondern vor allem seit den Arbeiten von COMENIUS auch zu einem gezielt eingesetzten Instrument der Wissensvermittlung in Lehrtexten. Heute ist die Verwendung von realistischen Bildern sowie von Diagrammen in Lehrtexten, auf Tafelbildern, Overheadfolien usw. selbstverständlicher Bestandteil von Lehr-Lern-Prozessen (vgl. HOUGHTON/WILLOWS 1987; MANDL/LEVIN 1989; SCHNOTZ/KULHAVY 1994; TUFT 1990; WEIDENMANN 1994). Trotz dieser Allgegenwart von Bildern und Diagrammen als Lehr- und Lernmittel wissen wir über die Funktion solcher graphischer Darstellungen im Prozeß des Wissenserwerbs noch verhältnismäßig wenig. Während die Erforschung des Sprachverstehens in den letzten Jahrzehnten wesentliche Fortschritte gemacht hat, steht die Erforschung des Verstehens von Bildern und Graphiken noch am Anfang. Wir sind zwar allgemein überzeugt, daß ein Bild mehr wert sein kann als tausend Worte, wissen jedoch wenig darüber, wann bzw. unter welchen Bedingungen und warum dies der Fall ist. Vor allem wissen wir noch wenig darüber, welche Form der Visualisierung unter welchen Bedingungen und für welche Zwecke am besten geeignet ist.

Die Beantwortung dieser Frage ist nicht nur von theoretischem, sondern

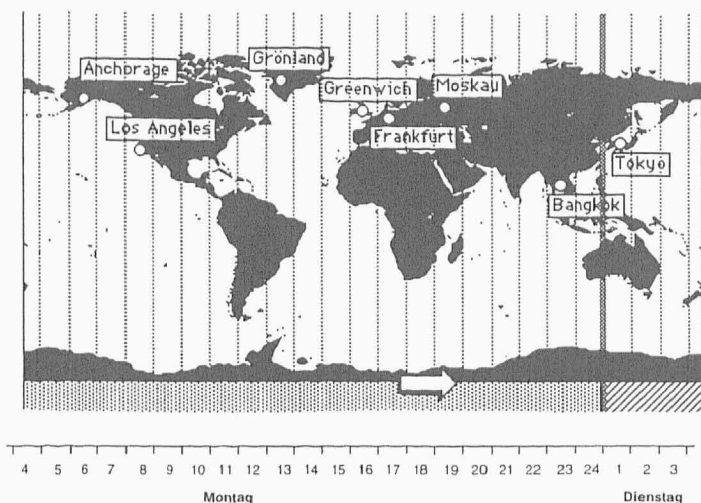


Abbildung 1: Beispiel für eine Visualisierung von geographisch bedingten Zeitunterschieden anhand eines Teppichbildes: Die Erde ist als Rechteck dargestellt, das sich wie ein fliegender Teppich entlang der Zeitachse bewegt.

auch von praktischem Interesse, denn häufig bietet sich die Möglichkeit, ein und denselben Sachverhalt auf unterschiedliche Weise zu visualisieren. Nehmen wir an, Schülern soll vermittelt werden, daß und warum auf der Erde zu ein und demselben Zeitpunkt unterschiedliche Uhrzeiten und Kalenderdaten gelten. Hierzu kann die Erdoberfläche auf einen Zylinder projiziert und auf ein Rechteck abgewickelt werden, das dann wie ein fliegender Teppich die Zeitachse entlangwandert. Eine solche Möglichkeit der Visualisierung ist in Abbildung 1 dargestellt. Eine andere Möglichkeit der Visualisierung ist, die Erdkugel vom Nordpol aus zu betrachten und als Kreis darzustellen, der in einer Schale von unterschiedlichen Zeitzuständen rotiert. Eine solche Möglichkeit der Visualisierung ist in Abbildung 2 dargestellt. Beide Arten der Visualisierung sind hinsichtlich Zeitunterschieden auf der Erde informationsäquivalent. Das heißt: Jede Information über Zeitunterschiede, die der einen Abbildung entnommen werden kann, kann auch der anderen entnommen werden (vgl. LARKIN/SIMON 1987). Man könnte nun die Auffassung vertreten, daß es angesichts des gleichen Informationsgehalts letztlich keine Rolle spielt, ob man die eine oder die andere Form der Visualisierung verwendet. Tatsächlich bedeutet die Informationsäquivalenz zweier Darstellungen jedoch nicht, daß diese für den Aufbau einer Wissensstruktur und die künftige Nutzung des erworbenen Wissens gleichermaßen geeignet sind. Es bedarf deshalb anderer Kriterien, um zu entscheiden, welche Form der Visualisierung unter bestimmten Bedingungen für bestimmte Zwecke am besten geeignet ist.

Um solche Kriterien zu entwickeln, ist jedoch zunächst eine grundlegendere Frage zu beantworten: Welchen Einfluß haben Visualisierungen auf den Prozeß des Wissenserwerbs und die Struktur des entstehenden Wissens? Die

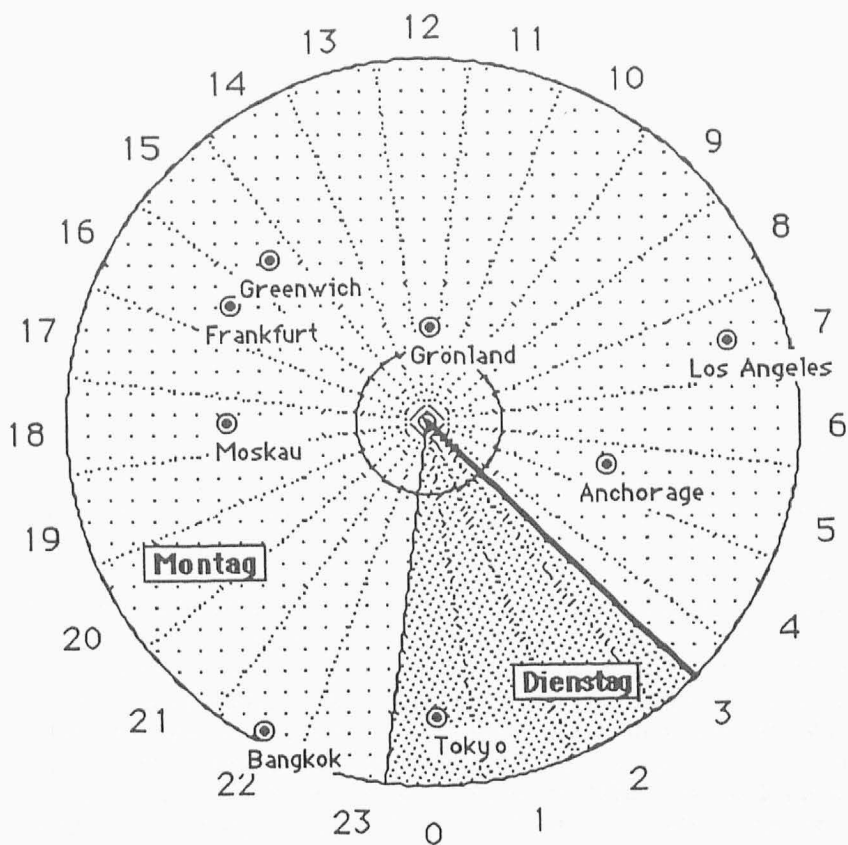


Abbildung 2: Beispiel für eine Visualisierung von geographisch bedingten Zeitunterschieden anhand eines Kreisbildes: Die Erde ist als Kreis dargestellt, der in einer Schale von unterschiedlichen Zeitzuständen rotiert.

vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Beantwortung dieser Frage leisten. Hierzu werden zunächst verschiedene theoretische Ansätze zum Sprach- und Bildverstehen dargestellt und diskutiert. Vor dem Hintergrund dieser theoretischen Überlegungen wird dann eine empirische Untersuchung dargestellt, mit deren Hilfe überprüft werden sollte, wieweit der Wissenserwerbsprozeß von der jeweiligen Form der Visualisierung eines Sachverhalts beeinflußt wird. Schließlich werden aufgrund der Untersuchungsergebnisse theoretische und praktische Konsequenzen gezogen.

2. Theoretische Ansätze zum Sprach- und Bildverstehen

2.1 Traditionelle Ansätze

In der Lehr-Lern-Forschung wurde das Zusammenspiel von Sprach- und Bildinformation lange Zeit meist aus der Perspektive der dualen Kodierungstheorie von PAIVIO (1971, 1978) betrachtet. Dieser Theorie zufolge enthält das menschliche kognitive System zwei selbständige, jedoch interagierende Subsysteme: ein verbales System für die Verarbeitung von Sprachinformation und ein imaginales System für die Verarbeitung von Bildinformation. Worte, Sätze und Texte werden demnach normalerweise nur im verbalen System verarbeitet und enkodiert. Nur wenn ein konkreter Sachverhalt beschrieben wird, der auch der Vorstellung zugänglich ist, findet eine zusätzliche Kodierung im imaginalen System statt. Bilder hingegen werden nach dieser Theorie grundsätzlich im imaginalen System und im verbalen System enkodiert. Das gute Behalten von Bildern ist demnach auf die Vorzüge einer doppelten gegenüber einer einfachen Kodierung zurückzuführen. Man erhält von dieser Theorie allerdings keine Antwort auf die Frage, ob eine bestimmte Form der Visualisierung besser geeignet ist als eine andere. Beispielsweise wäre bei den beiden oben gezeigten Formen der Visualisierung von Zeitunterschieden auf der Erde gleichermaßen eine duale Kodierung anzunehmen, so daß für die beiden Darstellungen kein Unterschied im Lernerfolg vorhergesagt werden könnte.

Von anderen Autoren wurde das Zusammenspiel von Sprach- und Bildinformation als ein Prozeß des wechselseitigen Informationsausgleichs zwischen unterschiedlichen Informationsquellen betrachtet. Ausgangspunkt dieser Überlegungen war das Konzept des semantischen Gefälles zwischen Text und Bild (BOCK 1983; BOCK/HÖRMANN 1974; BOCK/MILZ 1977). Ein Satz wie „Er hat es gewaschen“ enthält demnach semantische Leerstellen, da unklar ist, wer bzw. was mit den Pronomen „er“ und „es“ gemeint ist. Würde dieser Satz gemeinsam mit einem Bild gezeigt, auf dem ein Mann, ein Eimer und ein Auto zu sehen sind, dann wäre der Betrachter in der Lage, diese Leerstellen anhand der Bildinformationen auszufüllen. Das heißt: Das zwischen Bild und Satz bestehende semantische Gefälle würde durch die integrative Verarbeitung beider Informationsquellen ausgeglichen. Würde das gleiche Bild zusammen mit dem Satz „Der Mann hat das Auto gewaschen“ gezeigt werden, so bestünde kein semantisches Gefälle zwischen den Informationsquellen. Ein Informationsausgleich zwischen Text und Bild kann in beiden Richtungen stattfinden. So ist ein Text ohne ein begleitendes Bild oft nicht hinreichend verständlich. Umgekehrt besteht aber auch die Möglichkeit, daß ein Bild erst durch einen begleitenden Text verstanden wird.

Ausgehend von diesem Konzept des semantischen Gefälles, sehen MOLITOR, BALLSTAEDT und MANDL (1989) Texte und Bilder dann als komplementär an, wenn zum Verstehen ein zweiseitiger Informationsaustausch erforderlich ist. In diesem Fall bestehen sowohl auf seiten des Textes als auch auf seiten des Bildes semantische Leerstellen, die anhand der jeweils anderen Informationsquelle auszufüllen sind. Der Lernende muß also beide Informationsquellen nutzen, um den dargestellten Inhalt zu verstehen. Richtet man an diesen theoretischen Ansatz jedoch die Frage, welche von zwei informationsäquivalenten Visuali-

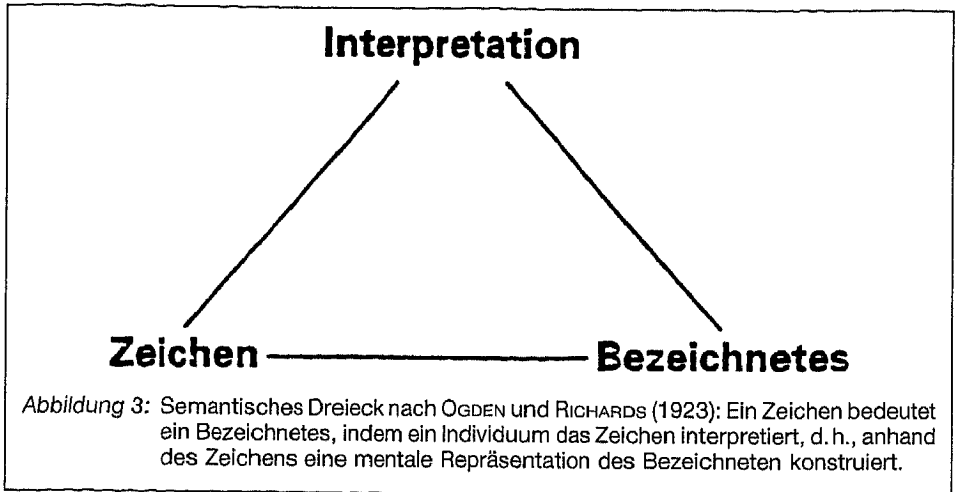
sierungen unter bestimmten Bedingungen für bestimmte Zwecke besser geeignet ist, so erhält man hier ebenfalls keine Antwort. Da beispielsweise die zwei oben gezeigten Formen der Visualisierung von Zeitunterschieden informationsäquivalent sind, enthalten beide auch die gleichen semantischen Leerstellen. Kombiniert man beide Visualisierungen wiederum mit Texten, die ihrerseits informationsäquivalent sind, so ist in beiden Fällen gleichermaßen eine integrative Verarbeitung von Text- und Bildinformation zu erwarten. Damit könnte auch hier zwischen den beiden Visualisierungsformen kein Unterschied im Lernprozeß und Lernerfolg vorhergesagt werden.

Im folgenden soll deshalb, ausgehend von neueren kognitionswissenschaftlichen Konzepten, ein alternativer Theorieansatz zum Sprach- und Bildverstehen entwickelt werden, der für die Beantwortung der Frage nach den Auswirkungen von Visualisierungsunterschieden besser geeignet zu sein scheint. Hierzu wird zunächst unter semiotischem Aspekt analysiert, welche Art von Zeichen bei Sprachäußerungen (bzw. Texten) und bei Bildern verwendet werden. Anschließend wird gefragt, welche Formen der mentalen Repräsentation anhand der unterschiedlichen Arten von Zeichen konstruiert werden. Von diesen repräsentationstheoretischen Überlegungen ausgehend, werden dann Texte und Bilder als komplementäre Formen der Darstellung eines Sachverhalts beschrieben, die auf qualitativ unterschiedliche Weise zum Aufbau einer Wissensstruktur beitragen.

2.2 Semiotische Aspekte des Sprach- und Bildverstehens

Aus semiotischer Sicht sind Sprachäußerungen und Bilder Zeichen, denen in einem bestimmten kommunikativen Kontext eine bestimmte Bedeutung zukommt. Sprachäußerungen werden dabei den Symbolzeichen, Bilder hingegen den ikonischen Zeichen zugerechnet. Während Symbolzeichen eine arbiträre Struktur besitzen und dem Bezeichneten aufgrund einer Konvention zugeordnet sind, ähneln ikonische Zeichen dem Bezeichneten bzw. sind mit ihm durch gemeinsame Strukturmerkmale verbunden (PEIRCE 1906). Durch eine sprachliche Darstellung wird ein Sachverhalt beschrieben. Dabei werden z. B. Komponenten dieses Sachverhalts durch Nomen genannt, durch Adjektive spezifiziert und durch Verben oder Präpositionen zueinander in Beziehung gesetzt. Eine solche Repräsentation enthält also explizite Zeichen für Relationen, weshalb man hier nach PALMER (1978) von extrinsischen Repräsentationen spricht. Bilder hingegen enthalten keine solchen expliziten relationalen Elemente. Sie repräsentieren ihren Gegenstand vielmehr aufgrund inhärenter Struktureigenschaften. Nach PALMER kann man deshalb hier von intrinsischen Repräsentationen sprechen.

Bei den sogenannten realistischen Bildern liegt eine relativ konkrete Form der strukturellen Übereinstimmung mit dem repräsentierten Gegenstand vor, die sich natürlich auf die Möglichkeiten des zweidimensionalen Darstellungsraumes beschränken muß. Demgegenüber handelt es sich bei einer Visualisierung in Form von Diagrammen um eine abstrakte Form der strukturellen Übereinstimmung mit dem dargestellten Gegenstand. So können z. B. in einem Säulen- oder Liniendiagramm durch räumliche Distanzen auch nichträumliche

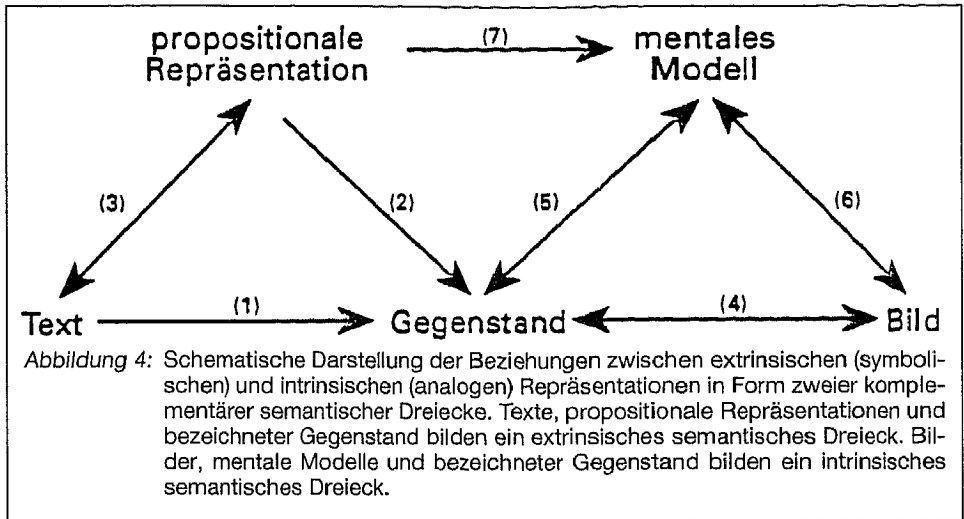


Merkmale wie etwa Geburtenzahlen, Einfuhrquoten und dergleichen repräsentiert werden. Ungeachtet der Verschiedenheit von repräsentierenden und repräsentierten Merkmalen besteht aber auch hier eine strukturelle Übereinstimmung zwischen Repräsentation und repräsentiertem Sachverhalt.

Hier stellt sich nun die Frage, wie diese verschiedenen Sprach- und Bildzeichen verstanden werden bzw. wie ein Lernender ihre Bedeutung erfaßt. Folgt man dem Konzept des sogenannten semantischen Dreiecks von OGDEN/RICHARDS (1923), das in Abbildung 3 dargestellt ist, so basiert die Bedeutung eines Zeichens auf einer Relation „Zeichen/Interpretation“ und einer Relation „Interpretation/Bezeichnetes“, aus denen sich als dritte, abgeleitete Relation die Beziehung „Zeichen/Bezeichnetes“ ergibt. Mit „Interpretation“ sind dabei jene mentalen Repräsentationen des dargestellten Sachverhalts gemeint, die der einzelne beim Verstehen eines Zeichens konstruiert. Ein Zeichen wird demnach verstanden, indem ein Individuum anhand dieses Zeichens eine mentale Repräsentation des Bezeichneten konstruiert.

2.3 Mentale Repräsentationen beim Sprach- und Bildverstehen

In der Sprachpsychologie und Psycholinguistik wird heute meist davon ausgegangen, daß beim Verstehen sprachlicher Äußerungen multiple mentale Repräsentationen gebildet werden. Demnach konstruiert ein Leser beim Verstehen eines Textes sowohl eine propositionale Repräsentation als auch – auf der Basis dieser Repräsentation – ein mentales Modell des dargestellten Sachverhalts (JOHNSON-LAIRD 1983; MORROW/GREENSPAN/BOWER 1987; PERRIG/KINTSCH 1985; SCHNOTZ 1994; VAN DIJK/KINTSCH 1983). Formal kann die Konstruktion einer propositionalen Repräsentation und eines mentalen Modells ebenfalls als eine duale Kodierung bezeichnet werden. Die hier vertretene Sichtweise unterscheidet sich aber grundlegend von der traditionellen dualen Kodierungstheorie. Erstens wird hier nicht nur für die Verarbeitung von Bil-



dern, sondern auch für die Verarbeitung von Sprache eine duale Kodierung angenommen. Zweitens wird die Konstruktion eines mentalen Modells nicht nur als ein Hinzufügen einer weiteren Kodierung angesehen, die einfach einen quantitativen Vorteil gegenüber einer einfachen Kodierung erbringt. Als wesentlich wird hier vielmehr angesehen, daß propositionale Repräsentationen und mentale Modelle auf unterschiedlichen, jedoch einander ergänzenden Repräsentationsprinzipien beruhen.

Propositionen sind komplexe mentale Symbole, die ähnlich wie die Sätze und Phrasen der natürlichen Sprache nach bestimmten syntaktischen Regeln aus einfacheren Symbolen zusammengesetzt sind und insofern eine bestimmte Konstituentenstruktur besitzen. Eine propositionale Repräsentation ist insofern eine Beschreibung des repräsentierten Gegenstandes in einer hypothetischen mentalen Sprache. Demgegenüber handelt es sich bei einem mentalen Modell um ein internes, hypothetisches Quasiobjekt, das in einer Struktur- oder Funktionsanalogie zu dem dargestellten Gegenstand steht und den Gegenstand aufgrund dieser Analogie repräsentiert. Wie bei anderen analogen Modellen – z. B. den sogenannten Analogrechnern – können dabei repräsentierte und repräsentierende Merkmale durchaus voneinander verschieden sein. Deshalb muß es sich bei mentalen Modellen keineswegs um bildhafte Vorstellungen des jeweiligen Gegenstands handeln. Vielmehr können auch Sachverhalte repräsentiert werden, die der Wahrnehmung nicht unmittelbar zugänglich sind (vgl. JOHNSON-LAIRD 1983, 1987; VOSNIADOU/ORTONY 1989; ZIMMER/ENGELKAMP 1988).

Propositionale Repräsentationen und mentale Modelle interagieren über schemageleitete Prozesse der Modellkonstruktion und der Modellanalyse. Die Modellkonstruktion besteht im Aufbau und gegebenenfalls der Reorganisation von mentalen Konfigurationen auf der Basis propositionalen Wissens anhand von kognitiven Schemata. Konstruiert beispielsweise der Leser eines Textes auf der Grundlage einer propositionalen Repräsentation ein mentales Modell, so

fungieren diese Schemata als Beschreibungen prototypischer Sachverhalte und führen dementsprechend zum Modell eines typischen Sachverhalts. Anhand eines konstruierten mentalen Modells können dann vielfältige neue Informationen abgelesen werden. Dieses Ablesen erfolgt im Rahmen der Modellanalyse, indem mit Hilfe entsprechender kognitiver Schemata bestimmte Relationen innerhalb der jeweiligen Konfiguration identifiziert werden (vgl. PINKER 1990). Die dabei abgelesenen Informationen müssen natürlich jeweils explizit gemacht bzw. in Form von Propositionen fixiert werden, so daß der propositionalen Repräsentation wiederum neue Daten hinzugefügt werden. Propositionale Repräsentationen und mentale Modelle sind demnach komplementäre, einander ergänzende Formen der mentalen Repräsentation, zwischen denen ein ständiges Wechselspiel stattfindet: Propositionale Repräsentationen dienen als Basis für die mentale Modellkonstruktion, und die Ergebnisse der Modellanalyse werden wiederum in propositionaler Form fixiert (SCHNOTZ 1993, 1994).

Stellt man nun die Repräsentationsbeziehungen zwischen Sprachäußerungen und Bildern sowie von propositionalen Repräsentationen und mentalen Modellen gegenüber dem repräsentierten Gegenstand systematisch dar, so ergeben sich zwei komplementäre semantische Dreiecke, die in Abbildung 4 graphisch dargestellt sind (vgl. FENK 1994). Darin steht das linke Dreieck für Repräsentationen mit Hilfe von Symbolen bzw. für extrinsische Repräsentationen. Die darin enthaltenen dargestellten Repräsentationsbeziehungen sind Beschreibungsrelationen. Da Beschreibungsrelationen asymmetrisch sind, werden diese in der Abbildung durch einfache Pfeile dargestellt. Das rechte Dreieck steht für Repräsentationen durch analoge Modelle bzw. für intrinsische Repräsentationen. Die darin enthaltenen Repräsentationsbeziehungen sind Analogierelationen, die entsprechend ihren symmetrischen Eigenschaften durch Doppelpfeile dargestellt sind. Demnach kann ein Gegenstand zum einen durch sprachliche Äußerungen bzw. einen Text extern oder durch eine propositionale Repräsentation intern symbolisch repräsentiert werden. Zum anderen kann ein Gegenstand durch ein Bild (als zweidimensionales Modell) extern oder durch ein mentales Modell intern analog repräsentiert werden. Zwischen der propositionalen Repräsentation und dem mentalen Modell dieses Gegenstands besteht folglich die gleiche Beziehung wie zwischen der sprachlichen Beschreibung bzw. dem Text und der bildhaften Darstellung dieses Gegenstands.

2.4 Sprach- und Bildverstehen als komplementäre Formen des Aufbaus mentaler Modelle

Den bisherigen Überlegungen zufolge basieren Bilder und mentale Modelle jeweils auf dem gleichen Repräsentationsprinzip: dem einer analogen Repräsentation. Nun sind Analogiebeziehungen nicht nur symmetrisch, sondern auch transitiv. Wenn deshalb ein Sachverhalt hinsichtlich bestimmter Merkmale extern durch ein Bild analog repräsentiert wird und hinsichtlich der gleichen Merkmale außerdem intern durch ein mentales Modell analog repräsentiert wird, so besteht notwendig die gleiche Analogierelation auch zwischen

Bild und mentalem Modell. So gesehen ist das Verstehen eines Bildes bzw. einer Visualisierung das Herstellen einer Analogierelation: Es gilt dabei, ein mentales Modell so zu konstruieren, daß erstens bestimmte graphische Entitäten der Visualisierung bestimmten Entitäten des mentalen Modells entsprechen und daß zweitens bestimmte räumliche Relationen der Visualisierung mit bestimmten semantischen Relationen innerhalb des mentalen Modells korrespondieren. Das Verstehen einer Visualisierung ist demnach ein Prozeß der Strukturabbildung eines Systems von externen räumlichen Relationen auf ein System von internen semantischen Relationen. Wegen der Symmetrie von Analogien kann dieser Abbildungsprozeß in beiden Richtungen stattfinden: Es kann sowohl ein mentales Modell anhand einer Visualisierung konstruiert als auch ein bereits konstruiertes mentales Modell anhand einer Visualisierung überprüft werden (vgl. FALKENHAINER/FORBUS/GENTNER 1989/1990).

Texte und Bilder sind demnach nicht deshalb komplementär, weil beide semantische Leerstellen enthalten, die jeweils anhand von Informationen der anderen Seite auszufüllen sind. Sie sind vielmehr deshalb komplementär, weil sie einen Gegenstand auf qualitativ unterschiedliche Weise darstellen, nämlich zum einen in Form einer symbolischen (extrinsischen) und zum anderen in Form einer analogen (intrinsischen) Repräsentation. Texte und Bilder tragen deshalb auch auf unterschiedliche Weise zum Aufbau eines mentalen Modells bei. Ein Text beschreibt den jeweiligen Gegenstand. Beim Verstehen des Textes konstruiert das Individuum eine mentale Repräsentation der jeweiligen Textoberfläche, bildet anhand dieser Oberflächenrepräsentation eine propositionale Repräsentation, die den semantischen Gehalt des Textes erfaßt, und konstruiert schließlich auf der Basis dieser Repräsentation mit Hilfe kognitiver Schemata ein entsprechendes mentales Modell. Diese Form der mentalen Modellkonstruktion ist eher indirekt, da, von symbolischen Repräsentationen ausgehend, eine analoge mentale Repräsentation gebildet, also das Repräsentationsprinzip gewechselt werden muß. Ein Bild hingegen hat die Funktion eines zweidimensionalen analogen Modells des repräsentierten Gegenstandes. Beim Verstehen eines Bildes konstruiert das Individuum, ausgehend von einer externen räumlich-visuellen Struktur, anhand entsprechender kognitiver Schemata ein analog strukturiertes mentales Modell. Diese Form der mentalen Modellkonstruktion erfolgt vergleichsweise direkt, da die externe und die interne Repräsentation jeweils auf dem gleichen Repräsentationsprinzip basieren.

Das Verstehen von Sprachäußerungen bzw. Texten und das Verstehen von Bildern sind allerdings keine mechanisch ablaufenden Prozesse, die nur von der extern dargebotenen Sprach- bzw. Bildinformation abhängig sind. Vielmehr ist davon auszugehen, daß die betreffenden Verarbeitungsprozesse auch durch die jeweilige Zielsetzung des Lernenden bzw. durch die Art der intendierten Wissensanwendung beeinflusst werden. Verschiedene Untersuchungen zum Lernen mit Texten haben gezeigt, daß Lernende ihre Verarbeitung an die perzipierte Aufgabenstruktur anpassen können und je nach vorgegebener Zielsetzung unterschiedliche kognitive Verarbeitungsprozesse stattfinden (vgl. McCONKIE/MEYER 1974; McCONKIE/RAYNER 1974). Ähnlich ist auch beim Wissenserwerb mit Bildern von einer Beeinflussung der kognitiven Verarbeitung durch die jeweilige Zielsetzung des Lernenden bzw. die von ihm wahrgenom-

menen Anforderungen auszugehen (vgl. WEIDENMANN 1989; PEECK 1994). Diese Ziel- bzw. Aufgabenabhängigkeit des Verstehens von Bildern bzw. Visualisierungen wird den obigen Überlegungen zufolge dadurch realisiert, daß je nach Zielsetzung bzw. Aufgabenstellung im Prozeß der Strukturabbildung einer graphischen Konfiguration auf ein mentales Modell unterschiedliche Teile dieser Konfiguration hervorgehoben bzw. verschiedene Teilstrukturen des mentalen Modells unterschiedlich intensiv elaboriert werden.

3. *Einflüsse der Visualisierungsform auf die mentale Modellkonstruktion*

3.1 *Fragestellung*

Das Verstehen von Visualisierungen wurde oben als ein ziel- bzw. aufgabenorientierter Prozeß der Strukturabbildung eines Systems von externen räumlichen Relationen auf ein System von internen semantischen Relationen charakterisiert. Vor diesem Hintergrund läßt sich nun die eingangs gestellte Frage nach dem Einfluß von Visualisierungen auf den Prozeß des Wissenserwerbs und die Struktur des entstehenden Wissens präziser formulieren. Dabei können folgende Teilfragen unterschieden werden:

- Welche graphische Information geht bei der mentalen Modellkonstruktion in den Prozeß der Strukturabbildung ein?
- Wie aufwendig ist die mentale Modellkonstruktion?
- Welchen Einfluß hat die Form der Visualisierung auf die entstehende Modellstruktur?

3.2 *Hypothesen*

Je nachdem, welche theoretische Auffassung man hinsichtlich des Charakters mentaler Modelle vertritt, lassen sich hier unterschiedliche Hypothesen formulieren. Eine wesentliche Unterscheidung besteht in diesem Zusammenhang darin, ob man mentale Modelle als von bildhaften Vorstellungen grundlegend verschieden ansieht oder ob man diesen Modellen auch teilweise bildhafte Eigenschaften zuschreibt (vgl. GARNHAM 1987; JOHNSON-LAIRD 1983). Geht man davon aus, daß mentale Modelle von bildhaften Vorstellungen grundsätzlich verschieden sind, so kann man annehmen, daß beim Verstehen einer Visualisierung nur der informationstragende Teil ihrer Struktur in die mentale Modellkonstruktion eingeht, während die unmittelbaren bildhaften Eigenschaften einer Visualisierung nicht auf das mentale Modell abgebildet werden. Der Wissenserwerb mit unterschiedlichen, jedoch informationsäquivalenten Formen der Visualisierung eines Sachverhalts würde demnach nicht zu unterschiedlichen mentalen Modellen führen. Nimmt man hingegen an, daß mentale Modelle auch bildhafte Eigenschaften besitzen, so kann man erwarten, daß beim Verstehen einer Visualisierung auch Teile der graphischen Struktur abgebildet werden, die nicht unmittelbar informationsrelevant sind. Beim Wissenserwerb mit unterschiedlichen Formen der Visualisierung eines Sachver-

halts würden dann auch im Falle von Informationsäquivalenz der graphischen Darstellung verschiedene mentale Modelle konstruiert werden. Aus den beiden theoretischen Grundannahmen ergeben sich jeweils unterschiedliche Konsequenzen sowohl hinsichtlich des kognitiven Aufwands der mentalen Modellkonstruktion als auch hinsichtlich der entstehenden Modellstruktur. Dies soll im folgenden anhand der beiden oben dargestellten Formen der Visualisierung von Zeitunterschieden auf der Erde exemplifiziert werden.

3.2.1 Hypothesen zum mentalen Konstruktionsaufwand

Wenn beim Verstehen einer Visualisierung nur der informationstragende Teil der graphischen Struktur in die mentale Modellkonstruktion eingeht, während die nicht unmittelbar informationsrelevanten bildhaften Oberflächeneigenschaften der Visualisierung unberücksichtigt bleiben, so kann man die Hypothese formulieren, daß beim Aufbau mentaler Modelle anhand von verschiedenen, jedoch informationsäquivalenten Visualisierungen kein Unterschied im mentalen Konstruktionsaufwand besteht. Im Falle der oben gezeigten Visualisierung von Zeitphänomenen anhand von Teppichbildern und Kreisbildern könnte man demnach folgende Hypothese (H1) formulieren:

- (H1) Der kognitive Aufwand für die Konstruktion eines mentalen Modells anhand von Teppichbildern unterscheidet sich nicht vom entsprechenden Aufwand für die Konstruktion anhand von Kreisbildern.

Nimmt man hingegen an, daß beim Verstehen einer Visualisierung auch nicht unmittelbar informationsrelevante bildhafte Oberflächeneigenschaften in die Modellkonstruktion eingehen, so ist zu erwarten, daß der mentale Konstruktionsaufwand je nach Art der Visualisierung auch dann unterschiedlich ist, wenn es sich um informationsäquivalente Darstellungen handelt. Im Fall der oben gezeigten Visualisierungen von Zeitphänomenen stellt sich dann die Frage, wo der Aufwand der mentalen Modellkonstruktion höher und wo dieser Aufwand geringer ist.

Anhand von Teppichbildern wird die Erdoberfläche immer aus der gleichen Perspektive betrachtet. Zwar hat der Teppich je nach aktuellem Zeitpunkt eine unterschiedliche Position auf der Zeitachse, doch liegt z. B. Tokyo immer relativ weit rechts und Anchorage immer relativ weit links. Zur Bestimmung von Zeitunterschieden sind nur die Rechts-links-Koordinaten relevant, da „rechts von“ immer „östlich von“ und zugleich „später als“ bedeutet. Die kreisförmig dargestellte Erde hingegen wird infolge ihrer Rotation je nach aktuellem Zeitpunkt aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. Dabei nimmt ein und derselbe Ort jeweils unterschiedliche Positionen sowohl auf der Rechts-links-Koordinate als auch der Oben-unten-Koordinate ein. Bei der Bestimmung von Zeitunterschieden ist außerdem eine sich verändernde innere Struktur des Kreises zu berücksichtigen, da es jeweils Kreissektoren von variabler Größe zu unterscheiden gibt, die verschiedene Kalendertage repräsentieren. Die Analyse von Kreisbildern dürfte damit insgesamt schwieriger sein als die von

Teppichbildern. Demnach kann man hier folgende alternative Hypothese (H2) formulieren:

- (H2) Der kognitive Aufwand für die Konstruktion eines mentalen Modells anhand von Kreisbildern ist höher als der entsprechende Aufwand für die Konstruktion anhand von Teppichbildern.

3.2.2 Hypothesen zur mentalen Modellstruktur

Wenn beim Verstehen einer Visualisierung zwar deren Informationsgehalt, nicht jedoch die unmittelbaren bildhaften Eigenschaften auf das mentale Modell abgebildet werden, so führen demnach unterschiedliche, jedoch informationsäquivalente Formen der Visualisierung eines Sachverhalts dennoch zu den gleichen mentalen Modellstrukturen. Im Falle der Visualisierung von Zeitphänomenen anhand von Teppichbildern und Kreisbildern könnte man demnach folgende Hypothese (H3) formulieren:

- (H3) Die Struktur von mittels Teppichbildern konstruierten mentalen Modellen unterscheidet sich nicht von der Struktur mittels Kreisbildern konstruierter Modelle.

Wenn hingegen in die Modellkonstruktion auch bildhafte Oberflächeneigenschaften eingehen, die nicht unmittelbar informationsrelevant sind, so führen unterschiedliche Formen der Visualisierung eines Sachverhalts auch bei Informationsäquivalenz zu unterschiedlichen Modellstrukturen. Bei der Visualisierung von Zeitphänomenen anhand von Teppichbildern und Kreisbildern wäre dann folgende Hypothese (H4) anzunehmen:

- (H4) Die Struktur von mittels Teppichbildern konstruierten mentalen Modellen unterscheidet sich von der Struktur mittels Kreisbildern konstruierter Modelle.

Hier stellt sich nun die Frage, worin diese Strukturunterschiede bestehen und wie sich die betreffenden Annahmen überprüfen lassen. Wir greifen hierzu einen Gedanken von PALMER (1978) auf, wonach eine Repräsentation nie mehr Informationen enthält, als ihr mit Hilfe vorhandener Prozeduren entnommen werden können. Für die Informationsentnahme ist jedoch nicht nur der jeweilige Informationsgehalt von Belang. Wichtig ist auch die Leichtigkeit oder Schwierigkeit, mit der einer Repräsentation bestimmte Informationen entnommen werden können, also die Nutzungseffizienz (computational efficiency) dieser Repräsentation (LARKIN/SIMON 1987). Da je nach Struktur einer Repräsentation bestimmte auf dieser Struktur operierende Prozeduren leichter und andere schwerer vollzogen werden können, eröffnen sich mit dem Konzept der Nutzungseffizienz auch Möglichkeiten, Annahmen über die Struktur mentaler Modelle zu überprüfen: Wenn zwischen verschiedenen Modellen keine Unterschiede in der Modellstruktur zu erwarten sind, so sollten sich die Modelle auch in ihrer Nutzungseffizienz nicht voneinander unterscheiden. Sind

hingegen unterschiedliche Modellstrukturen zu erwarten, so sollte auch die Nutzungseffizienz dieser Modelle entsprechend unterschiedlich sein.

Welche Unterschiede in der Struktur mentaler Modelle wären nun im Fall der Visualisierung von Zeitphänomenen durch Teppichbilder und durch Kreisbilder zu erwarten? Man kann davon ausgehen, daß eine Visualisierung durch Teppichbilder besser geeignet ist als eine Visualisierung durch Kreisbilder, um Fragen nach Zeitdifferenzen zwischen verschiedenen Orten auf der Erde zu beantworten. Eine solche Frage wäre beispielsweise: Wieviel Uhr ist es in Los Angeles, und welcher Wochentag gilt dort, wenn es in Tokyo gerade Dienstag 14 Uhr ist? Bei einer Visualisierung durch Teppichbilder sind nämlich Orte, die räumlich weit voneinander entfernt liegen, auch zeitlich weit voneinander entfernt. Bei einer Visualisierung durch Kreisbilder hingegen können Orte in unmittelbarer Nachbarschaft gelegen und dennoch zeitlich weit voneinander entfernt sein – und zwar dann, wenn sie unmittelbar östlich und westlich der Datumsgrenze liegen. Geht man davon aus, daß beim Verstehen einer Visualisierung auch Oberflächeneigenschaften auf das mentale Modell abgebildet werden, so sollte deshalb auch die Nutzungseffizienz von Modellen, die anhand von Teppichbildern konstruiert wurden, für solche Zeitdifferenzaufgaben höher sein als die Nutzungseffizienz von Modellen, die anhand von Kreisbildern konstruiert wurden.

Hingegen ist zu erwarten, daß die Visualisierung der Erde durch einen Kreis besser geeignet ist als die durch einen Teppich, um Fragen nach zeitlichen Phänomenen im Zusammenhang mit Reisen um die Erde zu beantworten. Eine solche Frage wäre beispielsweise: Warum dachten die Gefährten Magellans nach ihrer Weltumseglung bei der Ankunft, es sei Mittwoch, während es tatsächlich bereits Donnerstag war? Bei einer Visualisierung durch Kreisbilder kann man sich solche Erdumkreisungen nämlich als kontinuierliche Bewegungen vorstellen. Bei einer Visualisierung durch Teppichbilder hingegen muß beim Überschreiten der Datumsgrenze der Teppich jeweils auf einer Seite verlassen und gleichzeitig auf der anderen Seite wieder betreten werden. Infolge dieser Sprünge stellt sich die kontinuierliche Bewegung einer Erdumkreisung als diskontinuierliche Bewegung dar, was Lernenden Schwierigkeiten bereiten dürfte. Geht man wieder davon aus, daß beim Verstehen einer Visualisierung auch Oberflächeneigenschaften auf das mentale Modell abgebildet werden, so sollte deshalb die Nutzungseffizienz von Modellen, die anhand von Teppichbildern konstruiert wurden, für solche Erdumkreisungsaufgaben geringer sein als die von Modellen, die anhand von Kreisbildern konstruiert wurden.

Insgesamt ergeben sich damit aus den Annahmen (H3) und (H4) unterschiedliche abgeleitete Hypothesen. Folgt man der Hypothese (H3), wonach sich die Struktur von mittels Teppichbildern konstruierten mentalen Modellen nicht von der Struktur mittels Kreisbildern konstruierter Modelle unterscheidet, so gelangt man zu den Hypothesen (H3a) und (H3b):

- (H3a) Die Nutzungseffizienz anhand von Teppichbildern konstruierter mentaler Modelle für Zeitdifferenzaufgaben ist gleich der Nutzungseffizienz mittels Kreisbildern konstruierter Modelle.

(H3b) Die Nutzungseffizienz anhand von Teppichbildern konstruierter mentaler Modelle für Erdumkreisungsaufgaben ist gleich der Nutzungseffizienz mittels Kreisbildern konstruierter Modelle.

Folgt man hingegen der Hypothese (H4), wonach die betreffenden Modelle unterschiedliche Strukturen besitzen, so gelangt man zu den Hypothesen (H4a) und (H4b):

(H4a) Die Nutzungseffizienz anhand von Teppichbildern konstruierter mentaler Modelle für Zeitdifferenzaufgaben ist höher als die Nutzungseffizienz mittels Kreisbildern konstruierter Modelle.

(H4b) Die Nutzungseffizienz anhand von Teppichbildern konstruierter mentaler Modelle für Erdumkreisungsaufgaben ist geringer als die Nutzungseffizienz mittels Kreisbildern konstruierter Modelle.

Zur Überprüfung dieser Hypothesen wurde eine empirische Untersuchung durchgeführt. Im folgenden wird zunächst die Methode dieser Studie beschrieben. Anschließend werden die Untersuchungsergebnisse dargestellt und im Licht der obigen theoretischen Überlegungen interpretiert.

3.3 Untersuchungsmethode

Versuchspersonen und Lernmaterial. An der Untersuchung nahmen 40 Universitätsstudenten unterschiedlicher Fachrichtungen teil. Diese wurden nach Zufall in zwei Gruppen von je 20 Personen eingeteilt. Alle Versuchspersonen erhielten als Lernmaterial einen aus 32 Abschnitten bestehenden Text mit einer Länge von etwa 2750 Wörtern über das Entstehen von Zeitunterschieden auf der Erde, der computerbasiert auf einem Bildschirm als Hypertext dargeboten wurde. Die eine Gruppe erhielt eine Textvariante mit Teppichbildern, die andere eine Textvariante mit Kreisbildern. Diese Bilder waren jeweils informationsäquivalent. In den Texten wurde auch jeweils auf die betreffende Visualisierung Bezug genommen. Der Gehalt an Sachinformation blieb dabei jedoch unverändert, so daß auch von informationsäquivalenten Texten gesprochen werden kann.

Versuchsablauf. Die Probanden wurden zunächst einem Vorwissenstest unterzogen, in dem sie eine Reihe vorgegebener Begriffe zum Thema „Zeitunterschiede“ erläutern sollten. Anschließend wurden sie in einer Übungsphase anhand eines anderen Lerninhalts mit der Bedienung des Hypertexts vertraut gemacht. Nach dieser Übungsphase fand die eigentliche Lernphase statt. Dabei erhielten alle Probanden zur Orientierung eine Reihe von Lernfragen über Zeitunterschiede auf der Erde, die sie anhand des Lernmaterials beantworten sollten. Bei diesen Lernfragen handelte es sich sowohl um Zeitdifferenzfragen (Fragen, die sich auf Zeitunterschiede zwischen einzelnen Orten auf der Erde bezogen) als auch um Erdumkreisungsfragen (also Fragen, die sich auf Zeit- und Datumsänderungen im Zusammenhang mit Reisen um die Erde bezogen).

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen des Abrufs von Bildinformationen in der Teppichgruppe und der Kreisgruppe insgesamt sowie bei niedrigem und bei hohem Vorwissen

	Teppichgruppe	Kreisgruppe
Probanden insgesamt	M = 13.2 SD = 6.0	M = 19.1 SD = 12.6
niedriges Vorwissen	M = 12.8 SD = 7.2	M = 24.6 SD = 15.1
hohes Vorwissen	M = 13.6 SD = 4.0	M = 14.6 SD = 8.5

Die Probanden konnten zur Beantwortung dieser Fragen anhand eines hierarchischen Auswahlmenüs nach Belieben auf die einzelnen Textabschnitte und die einzelnen Bilder zugreifen. Nach der Lernphase erhielten die Probanden einen aus 35 Multiple-Choice-Items bestehenden Test, den sie ohne Zugriff auf das Lernmaterial bearbeiten mußten. Dieser Test enthielt sowohl Items, in denen nach Zeitdifferenzen zwischen verschiedenen Orten gefragt wurde, als auch Items, in denen nach Zeit- und Datumsänderungen im Zusammenhang mit Reisen um die Erde gefragt wurde.

Auswertung. Bei der Auswertung des Vorwissenstests wurden für sachlich richtige Aussagen über die vorgegebenen Begriffe Wissenspunkte vergeben. Aufgrund dieser Punktwerte wurde eine Medianhalbierung vorgenommen, um so zwischen Probanden mit niedrigerem und Probanden mit höherem Vorwissen zu unterscheiden. Während der Lernphase wurden die Häufigkeit des Abrufs der einzelnen Textabschnitte sowie die Häufigkeit des Abrufs der einzelnen Bilder automatisch registriert. Bei der Auswertung des Abschlußtests wurden die Anzahl der richtig beantworteten Zeitdifferenzitems und die Anzahl der richtig beantworteten Erdumkreisungsitems bestimmt.

3.4 Ergebnisse

3.4.1 Abruf von Bild- und Textinformation

Als Indikator für den mentalen Aufwand der Modellkonstruktion bei den unterschiedlichen Formen der Visualisierung wurde die Häufigkeit des Abrufs von Bildinformation und die Häufigkeit des Abrufs von Textinformation durch die Probanden verwendet. Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der Häufigkeiten des Abrufs von Teppichbildern und des Abrufs von Kreisbildern durch die Probanden insgesamt sowie bei niedrigem und bei hohem Vorwissen. Eine Varianzanalyse mit den Faktoren „Visualisierungsform“ (Teppich/Kreis) und „Vorwissen“ (niedrig/hoch) ergab einen signifikanten Effekt für den Faktor „Visualisierungsform“ ($F(1,36) = 4.81$; $p < .05$) bzw. einen entsprechend signifikanten A-priori-Kontrast von $t(27.2) = 1.90$ ($p < .05$). Au-

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen des Abrufs von Textinformationen in der Teppichgruppe und der Kreisgruppe insgesamt sowie bei niedrigem und bei hohem Vorwissen

	Teppichgruppe	Kreisgruppe
Probanden insgesamt	M = 21.8 SD = 13.2	M = 34.8 SD = 23.4
niedriges Vorwissen	M = 21.2 SD = 13.9	M = 41.9 SD = 31.2
hohes Vorwissen	M = 22.8 SD = 13.0	M = 28.9 SD = 13.4

Berdem zeigte sich eine leicht signifikante Interaktion „Visualisierungsform \times Vorwissen“ ($F(1,36) = 3.11$; $p < .10$). Für den Faktor „Vorwissen“ ergab sich kein signifikanter Effekt. Die Kreisbilder wurden also von den Probanden signifikant häufiger abgerufen als die Teppichbilder. Dieser Unterschied war allerdings nur bei den Probanden mit niedrigem Vorwissen zu verzeichnen, wo sich für den entsprechenden A-priori-Kontrast ein Wert von $t(10.7) = 2.15$ ($p < .05$) ergab. Bei den Probanden mit höherem Vorwissen war praktisch kein Unterschied in der Häufigkeit des Bildabrufs zu verzeichnen.

Tabelle 2 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen der Häufigkeiten des Abrufs von Textinformationen durch die Probanden mit Teppichbildern und die Probanden mit Kreisbildern insgesamt sowie bei niedrigem und bei hohem Vorwissen. Eine Varianzanalyse mit den Faktoren „Visualisierungsform“ (Teppich/Kreis) und „Vorwissen“ (niedrig/hoch) erbrachte einen signifikanten Effekt für den Faktor „Visualisierungsform“ ($F(1,36) = 5.22$; $p < .05$) und einen entsprechend signifikanten A-priori-Kontrast von $t(30) = 2.15$ ($p < .05$). Die Probanden der Kreisgruppe riefen also signifikant häufiger Textinformationen ab als die der Teppichgruppe. Die übrigen Effekte waren nicht signifikant. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, war der Unterschied zwischen Teppich- und Kreisgruppe bei niedrigem Vorwissen allerdings deutlicher als bei hohem Vorwissen. Für die Probanden mit niedrigem Vorwissen ergab sich ein signifikanter Kontrast von $t(10.4) = 1.86$ ($p < .05$), während für die Probanden mit hohem Vorwissen kein signifikanter Unterschied nachzuweisen war.

3.4.2 Beantwortung von Zeitdifferenz- und Erdumkreisungsaufgaben

Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Bearbeitung der Zeitdifferenzaufgaben im Abschlußtest durch die Teppichgruppe und die Kreisgruppe insgesamt sowie bei niedrigem und bei hohem Vorwissen. Eine Varianzanalyse mit den Faktoren „Visualisierungsform“ (Teppich/Kreis) und „Vorwissen“ (niedrig/hoch) erbrachte einen signifikanten Effekt für den Faktor „Visualisierungsform“ ($F(1,36) = 5.02$; $p < .05$) und einen entsprechend signifikanten A-priori-Kontrast von $t(38) = 2.09$ ($p < .05$). Die Teppichgruppe erbrachte also bei den Zeitdifferenzaufgaben signifikant bessere Leistungen als

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Leistungen bei der Bearbeitung der Zeitdifferenzaufgaben im Abschlußtest durch die Teppichgruppe und die Kreisgruppe insgesamt sowie bei niedrigem und bei hohem Vorwissen

	Teppichgruppe	Kreisgruppe
Probanden insgesamt	M = 9.3 SD = 3.0	M = 7.5 SD = 2.3
niedriges Vorwissen	M = 9.2 SD = 3.1	M = 6.6 SD = 2.3
hohes Vorwissen	M = 9.4 SD = 2.9	M = 8.3 SD = 2.1

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Leistung bei der Bearbeitung der Erdumkreisungsaufgaben im Abschlußtest durch die Teppichgruppe und die Kreisgruppe insgesamt sowie bei niedrigem und bei hohem Vorwissen

	Teppichgruppe	Kreisgruppe
Probanden insgesamt	M = 7.8 SD = 2.3	M = 10.1 SD = 3.0
niedriges Vorwissen	M = 7.1 SD = 2.3	M = 10.0 SD = 3.3
hohes Vorwissen	M = 8.9 SD = 2.0	M = 10.2 SD = 2.9

die Kreisgruppe. Die übrigen Effekte waren nicht signifikant. Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, war der Unterschied zwischen Teppich- und Kreisgruppe bei niedrigem Vorwissen allerdings deutlicher als bei hohem Vorwissen. Für die Probanden mit niedrigem Vorwissen ergab sich ein signifikanter A-priori-Kontrast von $t(19) = 2.12$ ($p < .05$), während für die Probanden mit hohem Vorwissen kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen war.

Tabelle 4 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen der Leistungen bei der Bearbeitung der Erdumkreisungsaufgaben im Abschlußtest durch die Teppichgruppe und die Kreisgruppe insgesamt sowie bei niedrigem und bei hohem Vorwissen. Eine Varianzanalyse mit den Faktoren „Visualisierungsform“ (Teppich/Kreis) und „Vorwissen“ (niedrig/hoch) erbrachte einen signifikanten Effekt für den Faktor „Visualisierungsform“ ($F(1,36) = 6.29$; $p < .05$) und einen hochsignifikanten A-priori-Kontrast von $t(38) = 2.70$ ($p < .01$). Die Kreisgruppe zeigte also bei den Erdumkreisungsaufgaben signifikant bessere Leistungen als die Teppichgruppe. Die übrigen Effekte waren nicht signifikant. Wie aus Tabelle 4 zu ersehen ist, war der Unterschied zwischen Teppich- und Kreisgruppe bei niedrigem Vorwissen allerdings deutlicher als bei hohem Vorwissen: Für die Probanden mit niedrigem Vorwissen ergab sich ein signifikanter A-priori-Kontrast von $t(19) = 2.38$ ($p < .05$), während bei den Probanden mit hohem Vorwissen kein signifikanter Unterschied bestand.

3.5 Diskussion

Insgesamt gesehen sprechen die Ergebnisse für die Hypothesen (H2) und (H4) bzw. gegen die Hypothesen (H1) und (H3). Das Verstehen einer Visualisierung kann demnach als Prozeß der Strukturabbildung eines Systems von externen räumlichen Relationen auf ein System von internen semantischen Relationen aufgefaßt werden, wobei in den Strukturabbildungsprozeß nicht nur der eigentliche Informationsgehalt, sondern auch bildhafte Oberflächeneigenschaften der Visualisierung, die nicht unmittelbar informationsrelevant sind, eingehen. Dadurch ist zum einen der kognitive Aufwand der Konstruktion eines mentalen Modells je nach Art der Visualisierung unterschiedlich, auch wenn es sich dabei um informationsäquivalente Darstellungen handelt. Zum anderen unterscheiden sich die aufgrund verschiedener Visualisierungen konstruierten mentalen Modelle in ihrer Struktur und eignen sich deshalb in unterschiedlichem Maße für bestimmte Anforderungen, haben also eine unterschiedliche Nutzungseffizienz für diese Aufgaben.

Gegen diesen Untersuchungsbefund mag kritisch eingewandt werden, daß die Probanden unserer Untersuchung aufgrund ihrer bisherigen Lerngeschichte mit einer der beiden Verarbeitungsformen bereits vertrauter waren. Eine informelle Befragung der Probanden nach der jeweiligen Untersuchung, mit welcher Form der Visualisierung sie bereits mehr Erfahrung hätten, erbrachte allerdings keinen erkennbaren Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Selbst wenn den Lernenden die Visualisierung der Erde durch Teppichbilder vertrauter gewesen sein sollte, so könnte dies allenfalls den geringeren mentalen Konstruktionsaufwand beim Wissenserwerb mit diesen Bildern erklären. Es wäre jedoch nicht erklärbar, weshalb die Probanden nach dem Wissenserwerb mit den weniger vertrauten Kreisbildern bei bestimmten Aufgaben besser abschneiden als mit den vertrauteren Teppichbildern. Insofern bieten die Ergebnisse einen deutlichen Hinweis darauf, daß die anhand unterschiedlicher Formen der Visualisierung konstruierten mentalen Modelle tatsächlich eine unterschiedliche Struktur besitzen und sich dementsprechend auch in ihrer Nutzungseffizienz voneinander unterscheiden.

Diese Unterschiede scheinen sich bei Lernenden mit niedrigerem Vorwissen deutlicher auszuwirken als bei Lernenden mit höherem Vorwissen. Dies weist darauf hin, daß Lernende mit niedrigem Vorwissen in höherem Maße von der Art der Visualisierung abhängig sind als Lernende mit hohem Vorwissen. Formal könnte man deshalb argumentieren, daß die Hypothesen (H2) und (H4) nur bei Lernenden mit niedrigem Vorwissen gültig sind, während bei hohem Vorwissen die Hypothesen (H1) und (H3) zutreffen. Demnach wären Lernende mit hohem Vorwissen in der Lage, die Oberflächenmerkmale einer graphischen Darstellung auszublenden und sich im Prozeß der Strukturabbildung auf den eigentlichen Informationsgehalt zu beschränken, so daß nur der informationstragende Teil der Visualisierung in die mentale Modellkonstruktion eingeht.

Wir vermuten jedoch, daß die bei Individuen mit hohem Vorwissen zu beobachtende geringere Abhängigkeit von der spezifischen Form der Visualisierung andere Gründe hat. Individuen mit höheren Lernvoraussetzungen dürften bei der mentalen Modellkonstruktion kognitiv flexibler sein, indem sie

anhand einer bestimmten Form der Visualisierung unterschiedliche mentale Modelle konstruieren und je nach Anforderung das eine oder das andere verwenden. Demgegenüber dürften Individuen mit niedrigeren Lernvoraussetzungen durch die Art der Visualisierung hinsichtlich ihrer mentalen Modellkonstruktion stärker festgelegt sein. Lernende mit höheren Lernvoraussetzungen konnten demnach im Beispiel der obigen Untersuchung anhand von Teppichbildern auch ein Kreismodell bzw. anhand von Kreisbildern auch ein Teppichmodell konstruieren und je nach Anforderung das geeignetere dieser Modelle verwenden, während Lernende mit geringeren Lernvoraussetzungen hierzu nicht in der Lage waren. Damit ließe sich erklären, warum sich bei höheren Lernvoraussetzungen die auf der graphischen Ebene vorhandenen Unterschiede in der Nutzungseffizienz auf der Ebene der mentalen Modelle nivellieren, während sie bei niedrigeren Lernvoraussetzungen auf der Modellebene bestehenbleiben.

4. Theoretische und praktische Konsequenzen

Eine Theorie des visuellen Lernens sollte nicht nur Aussagen darüber formulieren, ob und unter welchen Bedingungen ein Sachverhalt bildhaft darzustellen ist, um so dessen Verständnis zu erleichtern bzw. um ein wirksames Lernen zu ermöglichen. Sie sollte auch Angaben darüber machen, wie dieser Sachverhalt visualisiert werden sollte bzw. welche von verschiedenen Möglichkeiten der Visualisierung jeweils am geeignetsten ist. Wie bereits eingangs erwähnt, bietet die traditionelle duale Kodierungstheorie von PAIVIO hierfür keine geeignete Basis. Sie wäre auch nicht in der Lage, die oben beschriebenen Untersuchungsbefunde zu erklären. Auch ein theoretischer Ansatz, der das Text- und Bildverstehen als einen Prozeß des wechselseitigen Informationsausgleichs zwischen unterschiedlichen Informationsquellen ansieht, kann nicht erklären, weshalb unterschiedliche, jedoch informationsäquivalente Formen der Visualisierung zu unterschiedlichen Wissensstrukturen und zu einer entsprechend unterschiedlichen Nutzbarkeit dieses Wissens führen. Sieht man hingegen das Verstehen von Visualisierungen als einen Prozeß der Strukturabbildung, bei dem eine externe graphische Konfiguration einschließlich ihrer bildhaften Oberflächenmerkmale auf ein mentales Modell abgebildet wird, so bieten sich relativ gute Erklärungsmöglichkeiten für die oben dargestellten Befunde. Insofern scheint hier eine geeignetere Grundlage für eine Theorie des visuellen Lernens vorzuliegen als bei den bisher verwendeten theoretischen Ansätzen.

Der hier vertretene theoretische Ansatz wird selbstverständlich anhand weiterer Untersuchungen mit unterschiedlichen Inhalten, Visualisierungsformen, Lernanforderungen und Probandengruppen zu überprüfen und zu spezifizieren sein. Sollten sich dabei die oben aufgezeigten Zusammenhänge bestätigen, so wäre dies nicht nur theoretisch relevant, sondern hätte auch praktische Konsequenzen für die Gestaltung von Visualisierungen. Demnach ist ein sorgfältiges Design von Bildern, Diagrammen und anderen Formen der Visualisierung besonders für Lernende mit geringeren Lernvoraussetzungen von hoher Bedeutung, da diese Lernenden bei der mentalen Modellkonstruktion in

höherem Maße von der Art der Visualisierung abhängig sind als Individuen mit höheren Lernvoraussetzungen. Bei der Gestaltung von Visualisierungen gilt es nicht nur zu fragen, welche Informationen vermittelt werden sollen. Es ist auch zu berücksichtigen, wie leicht oder wie schwer der Prozeß der Strukturabbildung anhand einer bestimmten Form der Visualisierung fällt bzw. wie hoch der jeweilige Aufwand des Wissenserwerbs ist. Darüber hinaus ist zu fragen, welche Anforderungen mit dem so erworbenen Wissen bewältigt werden sollen und welche Form der Visualisierung eine jeweils möglichst hohe Nutzungseffizienz dieses Wissens verspricht. Kurz: Neben dem Informationsgehalt einer Visualisierung sind der kognitive Aufwand des Wissenserwerbs sowie der kognitive Aufwand der Wissensnutzung wichtige Entscheidungskriterien, um sich für eine möglichst lernwirksame und aufgabenadäquate Form der Visualisierung zu entscheiden.

Häufig sind natürlich verschiedene Arten der Wissensnutzung zu erwarten, so daß es naheliegt, einem Lernenden – sofern innerhalb des Lehrmaterials hinreichend Raum vorhanden ist – verschiedene Formen der Visualisierung ein und desselben Sachverhalts anzubieten. Oben wurde bereits die Vermutung geäußert, daß Individuen mit höheren Lernvoraussetzungen mehr Flexibilität beim Aufbau mentaler Modelle zeigen, indem sie anhand einer bestimmten Form der Visualisierung auch unterschiedliche mentale Modelle konstruieren und je nach Anforderung zwischen diesen Modellen wechseln. Um diesen wechselseitigen Bezug zwischen verschiedenen Modellen eines Sachverhalts zu erleichtern, müßten demnach bei der Verwendung unterschiedlicher Formen der Visualisierung diese auch systematisch aufeinander bezogen werden, so daß der Lernende ein kohärentes System von unterschiedlichen mentalen Modellen konstruieren und in flexibler Weise zwischen diesen wechseln kann. Die Möglichkeiten eines solchen Aufbaus multipler mentaler Modelle müssen Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Literatur

- BOCK, M.: Zur Repräsentation bildlicher und sprachlicher Informationen im Langzeitgedächtnis. Strukturen und Prozesse. In: L. ISSING/J. HANNEMANN (Hrsg.): Lernen mit Bildern. Grünwald 1983, S. 61–94.
- BOCK, M./HÖRMANN, H.: Der Einfluß von Bildern auf das Behalten von Sätzen. In: Psychologische Forschung 36 (1974), S. 343–357.
- BOCK, M./MILZ, B.: Pictorial context and the recall of pronoun sentences. In: Psychological Research 39 (1977), S. 203–220.
- FALKENHAINER, B./FORBUS, K.D./GENTNER, D.: The structure-mapping engine: algorithm and examples. In: Artificial Intelligence 41 (1989/90), S. 1–63.
- FENK, A.: Spatial metaphors and logical pictures. In: W. SCHNOTZ/R. KULHAVY (Hrsg.): Comprehension of Graphics. Amsterdam 1994, S. 43–62.
- GARNHAM, A.: Mental models as representations of discourse and text. Chichester 1987.
- HOUGHTON, H.A./WILLOWS, D.M.: The psychology of Illustration. (Instructional issues Vol. 2.) New York 1987.
- JOHNSON-LAIRD, P.N.: Mental Models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness. Cambridge 1983.
- JOHNSON-LAIRD, P.N.: The comprehension of discourse and mental models. In: M. NAGAO (Hrsg.): Language and artificial intelligence. Amsterdam 1987, S. 253–261.
- LARKIN, J.H./SIMON, H.A.: Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. In: Cognitive Science 11 (1987), S. 65–99.

- MANDL, H./LEVIN, J.R.: Knowledge acquisition from text and pictures. Amsterdam 1989.
- McCONKIE, G.W./MEYER, B.J.F.: Investigation of reading strategies: II. A replication of payoff condition effects. In: *Journal of Reading Behavior* 6 (1974), S. 151–158.
- McCONKIE, G.W./RAYNER, K.: Investigations of reading strategies: I. Manipulation strategies through payoff conditions. In: *Journal of Reading Behavior* 6 (1974), S. 9–18.
- MOLITOR, S./BALLSTAEDT, S.P./MANDL, H.: Problems in knowledge acquisition from text and pictures. In: MANDL/LEVIN 1989, S. 3–35.
- MORROW, D.G./GREENSPAN, S.L./BOWER, G.H.: Accessibility and situation models in narrative comprehension. In: *Journal of Memory and Language* 26 (1987), S. 165–187.
- OGDEN, L.K./RICHARDS, J.A.: The meaning of meaning. London 1923.
- PAIVIO, A.: Imagery and verbal processes. New York 1971.
- PAIVIO, A.: A dual coding approach to perception and cognition. In: H.L. PICK/E. SALTZMAN (Hrsg.): Modes of perceiving and processing information. Hillsdale (NJ) 1978, S. 39–52.
- PALMER, S.E.: Fundamental aspects of cognitive representation. In: E. ROSCH/B.B. LLOYD (Hrsg.): Cognition and categorization. Hillsdale (NJ) 1978, S. 259–303.
- PEECK, J.: Enhancing graphic-effects in instructional texts: Influencing learning activities. In: SCHNOTZ/KULHAVY 1994, S. 291–301.
- PEIRCE, C.S.: Prolegomena to an apology for pragmatism. In: *The Monist* (1906), S. 492–546.
- PERRIG, W./KINTSCH, W.: Propositional and situational representations of text. In: *Journal of Memory and Language* 24 (1985), S. 503–518.
- PINKER, ST.: A theory of graph comprehension. In: R. FEEDLE (Hrsg.): Artificial intelligence and the future of testing. Hillsdale (NJ) 1990, S. 73–126.
- SCHNOTZ, W.: On the relation of dual coding and mental models in graphics comprehension. In: *Learning and Instruction* 3 (1993), S. 247–249.
- SCHNOTZ, W.: Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten. Weinheim 1994.
- SCHNOTZ, W./KULHAVY, R.W.: Comprehension of Graphics. Amsterdam 1994.
- TUFTE, E.R.: Envisioning information. Cheshire (CT) 1990.
- VAN DIJK, T.A./KINTSCH, W.: Strategies of Discourse Comprehension. New York 1983.
- VOSNIADOU, S./ORTONY, A.: Similarity and analogical reasoning. Cambridge 1989.
- WEIDENMANN, B.: When good pictures fail: An information-processing approach to the effects of illustrations. In: MANDL/LEVIN 1989, S. 157–170.
- WEIDENMANN, B.: Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen. Bern 1994.
- ZIMMER, H.D./ENGLKAMP, J.: Informationsverarbeitung zwischen Modalitätsspezifität und propositionalem Einheitssystem. In: G. HEYER/J. KREMS/G. GÖRZ (Hrsg.): Wissensarten und ihre Darstellung. Heidelberg 1988, S. 130–154.

Abstract

Visualizing information plays an important role in the process of teaching and learning. Nevertheless, there is not much information available yet on how a subject matter should be visualized and which kind of visualization is best suited for specific purposes. Traditional theories of text and picture comprehension do not provide an adequate basis for answering this question. An alternative theoretical approach is described which considers comprehension of visualizations as a process of structure mapping between a visuo-spatial configuration and a mental model. The empirical study carried out revealed differences in the use of text and picture information and in the performance in answering different kinds of text items. These differences suggest that the structure mapping process between a visualization and a mental model entails not only the semantic content, but also surface characteristics of the respective graphic display.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. Wolfgang Schnotz, Thomas Zink, Michael Pfeiffer, Universität Koblenz-Landau, Fachbereich Psychologie, Im Fort 7, 76829 Landau